

Title	分子線エピタキシー法を用いたフォトリソニック結晶レーザー作製法の開発と空孔立体形状の検討(Abstract_要旨)
Author(s)	西本, 昌哉
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2016-03-23
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k19718
Right	学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2018-09-01に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

京都大学	博士（工学）	氏名	西本 昌哉
論文題目	分子線エピタキシー法を用いたフォトニック結晶レーザ作製法の開発と空孔立体形状の検討		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、大面積発振が可能であり、出射ビームの形状や偏光を制御可能という特徴を併せもつフォトニック結晶レーザの空孔立体形状を制御し得る新規作製法を開発するとともに、空孔の立体形状に着目して新規機能の提案を行ったものであり、7 章からなっている。</p> <p>活性層の近傍に周期的な屈折率分布をもつフォトニック結晶を配置し、レーザ共振器として利用したフォトニック結晶レーザは、大面積発振による高出力動作のみならず、偏光およびビームパターンの制御や、ビーム出射方向の制御といった様々な機能の実現を可能とする、新しい半導体レーザとして注目を集めている。最近では、3 次元結合波解析と呼ばれる、面垂直方向への結合特性も取り込んだ解析法の構築が進み、空孔の立体形状に非対称性を導入することにより、出射効率がさらに向上することが予見されている。しかしながら、空孔の立体形状を制御可能な作製手法は構築されていなかった。</p> <p>本論文では、上記の課題に対して、分子線エピタキシー法（MBE）を用いてフォトニック結晶構造を埋め込むことを提案・実証し、分子線の照射方向などを変化させることによって、空孔の立体形状を制御し得ることを示した。さらに、本手法を実際にフォトニック結晶レーザの作製に適用し、レーザ発振の成功に至った。また、作製したデバイスの特性評価を通じて空孔の立体形状が、出射効率や出射されるビームの形状・偏光など、レーザの諸特性に与える影響を明らかにした。並行して、空孔の立体形状に着目した新規の偏光制御手法を提唱し、これまでフォトニック結晶レーザで実現していなかった円偏光を出射可能な空孔立体形状を提案した。</p> <p>以上のように、本論文で構築された MBE 空孔埋め込み法は、フォトニック結晶レーザの作製において空孔の立体形状という新たな自由度を与える画期的な手法である。本論文で得られた知見は、今後のフォトニック結晶レーザのさらなる高出力化や、新規機能の創出に繋がり、半導体レーザ研究の推進に寄与すると期待できる。以下に各章の内容を要約する。</p> <p>第 1 章は序論である。はじめに研究背景としてレーザ、特に半導体レーザについて紹介している。つづいて、半導体レーザの従来のレーザ共振器の構造について説明している。さらに、本論文の主題であるフォトニック結晶レーザを紹介し、従来の共振器構造ではなし得なかった大面積でのコヒーレント発振、ビームパターン・偏光の制御、ビーム出射方向の制御といった特徴についても述べている。また、フォトニック結晶の空孔立体形状を制御することによって出射効率が増大することが予見されていることに触れ、本論文の研究課題である空孔立体形状制御の有用性を述べている。</p> <p>第 2 章では、まずフォトニック結晶レーザの構造と発振原理について説明し、従来の作製法とその課題について紹介している。続いて、フォトニック結晶の空孔立体形</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	西本 昌哉
<p>状を制御し得る作製法として分子線エピタキシー法による作製法を提案している。</p> <p>第 3 章では、まず分子線エピタキシー法の基礎について説明している。続いて、分子線エピタキシー法を用いた作製法の構築に向けた検討の第一段階として、半導体結晶成長前の基板処理方法として硫酸浸漬による処理が有効であることを明らかにした。さらに、半導体結晶成長直前の加熱処理温度の適切な温度を探索し、550℃以下での加熱処理が必要であることを述べている。その後、実際にフォトリソグラフィ結晶構造上への成長を行い、フォトリソグラフィ結晶構造を基板内部に空孔を残しつつ埋め込むことに成功し、分子線の照射方向や基板温度といった成長条件を変化させることによって埋め込み後の空孔立体形状が変化することを示した。</p> <p>第 4 章では、分子線エピタキシー法を用いた作製法によって、フォトリソグラフィ結晶レーザを試作し、その特性評価結果について述べている。レーザの諸特性の測定結果から、単一モードでのレーザ発振を確認し、ガウス分布に近い強度分布をもち、なおかつ直線偏光に近い偏光状態のビームが射出されることを示した。さらに、3 次元結合波理論による数値解析結果を踏まえ、分子線エピタキシー法を用いた作製法によって空孔の立体形状を制御した結果、従来の作製法であるウェハ融着法より 2 倍以上の射出効率と単峰かつ直線偏光に近いビームを得られたことを示した。</p> <p>第 5 章では、分子線エピタキシー法を用いた作製法の最適化に向けて、原子状水素による表面処理について検討した結果を述べている。走査型電子顕微鏡や透過型電子顕微鏡による評価結果から、原子状水素処理の効果によって再成長層の結晶の転位の発生を抑制できることを示している。</p> <p>第 6 章では、フォトリソグラフィ結晶の空孔立体形状制御による新規偏光制御手法を提案し、3 次元結合波理論による数値計算をもちいて提案した偏光制御手法について検討している。その結果、適切な立体形状にすることによって円偏光を直接射出し得ることを示している。</p> <p>第 7 章では、本論文において得られた知見をまとめるとともに、今後の展望を述べている。</p>			

氏 名	西本 昌哉
-----	-------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、大面積コヒーレント発振が可能であり、ビームの強度分布や偏光を制御可能であるといった特徴をもつフォトニック結晶レーザの新規作製法を提案し、その有用性を示すとともに、円偏光を出射可能なフォトニック結晶構造を提案したものである。本論文によって示されている主な成果は、次のようにまとめられる。

1. 分子線エピタキシー法を用いたフォトニック結晶構造の埋め込みに際して、分子線の照射方向や成長時の基板温度を変化させることによって、埋め込み後の空孔の立体形状を制御し得ることを明らかにした。
2. 上記手法を用いて作製したフォトニック結晶レーザの単一モード発振に成功し、空孔立体形状を制御した効果として、スロープ効率の増大と出射されるビームの強度分布や偏光が変化することを示した。
3. 空孔の立体形状の設計による新規偏光制御手法を提案し、空孔を適切な螺旋形状とすることによってフォトニック結晶レーザから円偏光を直接出射し得ることを数値計算から明らかにした。

以上の成果は、半導体結晶成長とフォトニクス の両分野にまたがるものであり、学術的に興味深い。また、半導体レーザの高出力化や多機能化といった応用に寄与するものと期待される。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年2月5日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 2016 年 3 月 23 日以降